Aus dem Physiologischen Institut der Universität Rostock

Der Stereoeffekt Pulfrichs und die Empfindungszeit

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
an der Universität Rostock

vorgelegt von

Johannes Holz
aus Rostock

Erschienen in der Zeitschrift für Biologie Bd. 95, Heft 5, 1934

J. F. LEHMANNS VERLAG, MÜNCHEN 2 SW

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Rostock

Der Stereoeffekt Pulfrichs und die Empfindungszeit

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
an der Universität Rostock

vorgelegt von

Johannes Holz
aus Rostock

Erschienen in der Zeitschrift für Biologie Bd. 95, Heft 5, 1934

J. F. LEHMANNS VERLAG, MÜNCHEN 2 SW

Abgenommen von der Hohen Medizinischen Fakultät Rostock am 20. 12. 1933
Gedruckt mit Genehmigung der Hohen Medizinischen Fakultät Rostock
Referent: Prof. Dr. Wachholder

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552717_0155

Zeitschrift für Biologie, Bd. 95.
J. F. Lehmanns Verlag, München 1934.

Der Stereoeffekt Pulfrichs und die Empfindungszeit.

Von **Johannes Holz.**

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Rostock.)

(Mit einer Textabbildung.)

(Der Schriftleitung zugegangen am 23. September 1933.)

Einleitung.

Vor einer Reihe von Jahren wurde von Pulfrich[1]) der sogenannte „Stereoeffekt" beschrieben. Dieser Effekt besteht darin, daß eine in einer Ebene schwingende Marke einen Kreis zu beschreiben scheint, wenn man vor das eine Auge des Beobachters ein Grau- oder Farbglas, eine künstliche Pupille (Kartonblatt mit Durchstich) oder dergleichen bringt. Die Kreisbewegung erfolgt im Uhrzeigersinne, wenn die Reizintensität für das linke Auge, im entgegengesetzten Sinne, wenn sie für das rechte Auge herabgesetzt wird; die Größe der Kreisbewegung ist von der Stärke der Abschwächung und von der Geschwindigkeit der bewegten Marke abhängig. Pulfrich[2]) sah in diesem Phänomen eine einfache Methode zur heterochromen Photometrie, indem er die Helligkeiten zweier Farben als gleich definierte, wenn sie keinen Stereoeffekt bedingen (stereogleich, v. Kries). Außer dieser Verwendungsmöglichkeit kommt dem Pulfrich-Effekt eine große Bedeutung für die Sinnesphysiologie zu; er ist verknüpft mit dem umfangreichen Gebiet der Zeitraumwahrnehmungen. Von Saeger[3]) wurde darauf hingewiesen, daß seine Messung eine Bedeutung für die Beurteilung des stereoskopischen Sehvermögens habe, und von Engelking[4]) und Wölfflin[5]) wurde der Stereoeffekt zur Untersuchung von farbenschwachen und farbenblinden Patienten verwendet. Unter diesen Umständen ist es verständlich, daß man sich von den verschiedensten Seiten her um die Beantwortung der Fragen bemüht hat, die sich aus dem Stereoeffekt ergeben (Pulfrich[6]), v. Kries[7]), Engelking und Poos[8]), Wölfflin[9]), Kronenberger[10]), Arndt[11]), Kahn[12])). Zu diesen Fragen gehört in erster Linie auch die nach dem Grund für das Zustandekommen der Kreisbewegung. Zu ihrer Klärung trug ein Versuch von C. v. Heß[13]) wesentlich bei: Heß beobachtete, daß von zwei bewegten Lichtspalten, die vertikal untereinander-

[1]) C. Pulfrich, Naturwissenschaften X, 553 (1922); Derselbe, Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie. Berlin 1923.
[2]) C. Pulfrich S. 37.
[3]) F. Saeger, Klin. Mbl. Augenheilk. **78** (Beilagenheft), 204 (1927).
[4]) E. Engelking, Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 1 (1924).
[5]) E. Wölfflin, Kl. Mbl. Augenheilk. **74**, 581 (1925).
[6]) C. Pulfrich, Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie, Berlin 1923, S. 12.
[7]) J. v. Kries, Naturwiss. **24**, 461 (1923).
[8]) E. Engelking und F. Poos, Graefes Arch. **114**, 340 (1924).
[9]) E. Wölfflin, Arch. Augenheilk. **95**, 167 (1925).
[10]) P. Kronenberger, Z. Sinnesphysiol. **57**, 255 (1926); Pflügers Arch. **211**, 444 (1926).
[11]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 474 (1930).
[12]) R. H. Kahn, Pflügers Arch. **228**, 213 (1931).
[13]) C. Heß, Pflügers Arch. **101**, 226 (1904).

stehen, aber verschieden hell beleuchtet sind, der heller beleuchtete dem schwächeren vorauszueilen scheint, wenn sie mit fixiertem Blick beobachtet werden (Heßsches Phänomen). Fröhlich[1]) konnte zeigen, daß der Wegunterschied der beiden Spalte direkt proportional der Differenz der Empfindungszeiten der beiden Reize ist (unter Empfindungszeit ist dabei die Zeit zu verstehen, die zwischen der Einwirkung des Lichtreizes und dem Beginn der damit verknüpften Empfindung vergeht). Der Stereoeffekt kommt unter ähnlichen Bedingungen zustande wie das Heßsche Phänomen: durch die Abschwächung der Intensität auf einem Auge kommt es zu einem Nachhinken der Empfindung dieses Auges und damit zu einer „Querdisparation", die das scheinbare Kreisen der Marke zur Folge hat. Es lag daher nahe, zur Erklärung des Tiefeneffektes ebenfalls die Empfindungsdifferenzen heranzuziehen. Für diese Annahme sprachen die Versuche von Kronenberger[2]), Monjé[3]) und Arndt[4]). Kronenberger zeigte, daß der Pulfrich-Effekt bei einem herabgesetzten Adaptationszustand der Augen nicht der Eindruckshelligkeit, sondern dem Verhalten der Empfindungszeiten entspricht. Weiter wurde von Kronenberger und Monjé[5]) nachgewiesen, daß für stereogleiche Farben Empfindungszeit–Gleichheit besteht. Arndt[6]) untersuchte die Abhängigkeit des Stereoeffektes von der Geschwindigkeit der bewegten Marke und konnte durch einen Vergleich seiner Ergebnisse mit den Resultaten von Vogelsang und Hirschberg die außerordentlich gute Übereinstimmung der Größe des Stereoeffektes mit den Differenzen der unter ähnlichen Bedingungen gemessenen Empfindungszeiten darlegen. Engelking und Poos[7]), Wölfflin[8]), Hofmann[9]), Tschermak[10]), Saeger[11]), Kahn[12]) haben sich dieser Anschauung angeschlossen. v. Kries[13]) hat demgegenüber darauf hingewiesen, daß es fraglich erscheinen kann, „ob es genügt, einfach von der Zeitdifferenz zwischen Reiz und Empfindung zu sprechen. Von vornherein erscheint es z. B.", sagt v. Kries, „nicht ganz sicher, ob es für den Stereoeffekt auf den Zeitpunkt ankommt, in dem die Empfindung beginnt oder auf denjenigen, in dem sie ihren Höchstwert erreicht." Kries hält es also für möglich (und Wölfflin[14]) kommt zu derselben Annahme in bezug auf die Farbenblinden), daß für den Pulfrich-Effekt nicht die Empfindungszeiten, sondern darüber hinaus die Zeiten bis zur Erreichung des Helligkeitsmaximums maßgebend sind, eine Anschauung, gegen die zwar eine Reihe von Tatsachen sprechen (Kronenberger[15])), die jedoch nicht absolut abgelehnt werden konnte. Auch folgende Frage konnte bisher nicht beantwortet werden: aus der Literatur[16]) ist bekannt, daß sich unter bestimmten Bedingungen die Empfindungen der beiden Augen beeinflussen, und Monjé[16]) hat gezeigt, daß die Empfindungszeit im Verhältnis von 4:3 verkürzt wird, wenn sie binokular statt unokular gemessen wird. Es war also von vornherein die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß auch beim Pulfrich-Effekt eine gegenseitige Beeinflussung stattfindet. – In der vorliegenden Arbeit soll mit einer Methode, welche die Empfindungszeit und den Stereoeffekt unter gleichen Bedingungen zu messen gestattet, die Beziehung zwischen Empfindungszeit und Stereoeffekt untersucht werden.

---

[1]) Fr. W. Fröhlich, Z. Sinnesphysiol. **54**, 58 (1922); Pflügers Arch. **101**, 226 (1924).
[2]) P. Kronenberger, Pflügers Arch. **211**, 465 (1926).
[3]) M. Monjé, Z. Biol. **87**, 33 (1927).
[4]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 583 (1930).
[5]) M. Monjé, Z. Biol. **87**, 33 (1927).
[6]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 583 (1930).
[7]) E. Engelking und F. Poos, Graefes Arch. **114**, 357 (1924).
[8]) E. Wölfflin, Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 581 (1925).
[9]) F. Hofmann, Die Lehre vom Raumsinn des Auges. Berlin 1925, S. 520.
[10]) Tschermak, A., Handb. der normalen und pathol. Physiologie Bd. 12, 2, S. 914.
[11]) F. Saeger, Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, (Beilageheft) 208 (1927).
[12]) R. H. Kahn, Pflügers Arch. **288**, 213 (1931).
[13]) J. v. Kries, Naturwiss. **24**, 461 (1923).
[14]) E. Wölfflin, Arch. Augenheilk. **95**, 172 (1925).
[15]) P. Kronenberger, Pflügers Arch. **211**, 483 (1926).
[16]) M. Monjé, Z. Biol. **91**, 387 (1931).

Methodik.

Zu unseren Untersuchungen benutzten wir eine Anordnung, die sich aus der Apparatur von Arndt[1]) und Hirschberg[2]) entwickelt hat. Als Lichtreiz diente in den ersten Versuchsserien ein rechteckiges Stückchen von einem schwarzen Karton in der Größe $4{,}5 \times 0{,}65$ mm, das auf einen Objektträger aufgeklebt war. Da der Pulfrich-Effekt bei Verwendung eines runden Reizes deutlicher in Erscheinung tritt (vgl. Pulfrich[3]), Arndt[4]), Monjé[5])), wählten wir für die Hauptversuche als Reiz das rußgeschwärzte Köpfchen einer Insektennadel, die soweit gekürzt war, daß sie bei der Bewegung nicht in Schwingung geriet. 30 mm hinter der Reizmarke befand sich eine Milchglasscheibe von 50 mm Durchmesser, die von einer in einer Photometereinrichtung verschiebbaren hundertkerzigen Metallfadenlampe beleuchtet wurde. Bei den vorliegenden Versuchen wurden also dunkle Reize auf hellem Grunde beobachtet, über deren Verwendbarkeit bei Pulfrich[6]), Wölfflin[7]), Hirschberg[8]) und Arndt[9]) berichtet wird. Zur Abschwächung der Intensität benutzten wir ein Blauglas, durch das die Empfindung des einen Auges soweit herabgesetzt wurde, als es die Meßvorrichtung zuließ; außerdem wurden bei einigen Versuchen Gelb- und Graufilter der Lifa-Serie benutzt. Bei Verwendung von Farbfiltern zur einseitigen Abschwächung der Helligkeit konnten wir entgegen den Mitteilungen anderer Autoren die Beobachtung Arndts bestätigen, daß es zu einer binokulären Farbenmischung und nicht zu einem Wettstreit der Sehfelder kommt.

Die Bewegung der Reizmarke erfolgte von links nach rechts. Dadurch wurde bewirkt, daß der Stereoeffekt in der Weise zum Ausdruck kam, daß die Marke parallel zu ihrer wirklichen Bewegungsebene verschoben schien. Die zur Bewegung der Marke dienende Anordnung ist bei Arndt[10]) ausführlich beschrieben, hier sei nur der außerordentlich gleichmäßige Lauf des Zimmermannschen Kymographions hervorgehoben. Die Geschwindigkeit wurde bei jeder Beobachtung vom Versuchsleiter mit Hilfe einer Jaquetschen Uhr oder einer Zimmermannschen Kontaktuhr registriert und kontrolliert. Bei den Versuchen der vorliegenden Arbeit fanden Geschwindigkeiten von 39 bis 7832 Bogenminuten/Sek. Anwendung.

Zur Beobachtung wurde an Stelle des von Arndt verwendeten binokulären Fernrohrs eine Leitzsche binokuläre Hornhautlupe von 3,5facher Vergrößerung benutzt. Das linke Okular dieses Instrumentes wurde durch ein Okularmikrometer ersetzt, in welchem der größte Teil der linken Hälfte des Gesichtsfeldes durch ein Metallschirmchen abgedeckt war; der freie Rand dieses Schirmchens war vertikal und parallel zum Meßfaden des Okularmikrometers eingestellt. Der Lichtreiz tauchte hinter diesem Schirmrand auf, und zwar der rechteckige so, daß er durch den horizontalen Faden halbiert wurde, der runde Reiz 40,4 Bogenminuten über der horizontalen Linie des Okularmikrometers. Als Fixierpunkt wurde entweder die Kreuzung der horizontalen Linie mit dem Schirmrand (Fröhlich[11])) oder der horizontalen Linie mit dem vertikal eingestellten Meßfaden (Monjé[12])) benutzt; die Beobachtungen fanden foveal und bei höheren Geschwindigkeiten parazentral statt. Da nach Vogelsang[13]) die parazentrale Zone bei Helladaption die gleiche Empfindungszeit hat wie die Fovea, ergibt sich daraus keine Unstimmigkeit.

[1]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 575 (1930).
[2]) E. Hirschberg, Z. Biol. **90**, 82 (1930).
[3]) C. Pulfrich, Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie, Berlin 1923, S. 51.
[4]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 576 (1930).
[5]) M. Monjé, Handbuch der biolog. Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, S. 1286, 1932.
[6]) C. Pulfrich, Berlin 1923, S. 9 u. 10.
[7]) E. Wölfflin, Arch. Augenheilk. **95**, 168 (1925).
[8]) E. Hirschberg, Z. Biol. **90**, 92 (1930).
[9]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 576 (1930).
[10]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 575 (1930).
[11]) Fr. W. Fröhlich, Z. Sinnesphysiol. **54**, 59 (1922).
[12]) M. Monjé, Pflügers Arch. **208**, 110 (1925).
[13]) K. Vogelsang, Pflügers Arch. **206**, 29 (1924).

Mit Hilfe dieser Vorrichtung konnte bei verdecktem rechten Tubus der Lupe mit dem linken Auge die Verschiebung gemessen werden, mit der der bewegte Lichtreiz hinter dem vertikalen Schirmrand auftaucht, indem der Meßfaden des Okularmikrometers an die entsprechende Stelle gebracht wurde (vgl. Hirschberg[1]). Aus dieser Verschiebung ergibt sich unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit, mit der die Marke bewegt wird, nach Fröhlich die Empfindungszeit. Diese Anordnung konnte sowohl zur Messung der Empfindungszeit des starken Reizes als auch zur Messung der Empfindungszeit des schwachen Reizes verwendet werden, denn es war vor Beginn der Versuche an der von Monjé zur Untersuchung der binokularen Empfindungszeit benutzten Methode[2]) nachgewiesen worden, daß die Empfindungszeiten des rechten und des linken Auges bei den drei Versuchspersonen, an denen die vorliegenden Versuche durchgeführt wurden, völlig übereinstimmen[3]). Es war demnach möglich, die mit dem linken Auge gemessenen Empfindungszeitwerte auf das rechte Auge zu übertragen.

Um das Okularmikrometer im linken Tubus der Lupe, das zur Messung der Empfindungszeit notwendig war, ohne Änderung bei der Bestimmung des Stereoeffektes benutzen zu können, war es erforderlich, im rechten Okular ein gleich großes Metallschirmchen anzubringen wie im Okularmikrometer, damit die Gesichtsfelder rechts und links gleich groß wurden. Von der Firma Leitz, die diese Schirmchen einsetzte, wurde ferner in das rechte Okular rechts von der Mitte eine Linie parallel zum Schirmrand eingeschnitten. Wenn der Meßfaden des Okularmikrometers den gleichen Abstand vom Schirmrand hatte wie diese Linie im rechten Okular, so sah der Beobachter bei binokularer Betrachtung ein Fadenkreuz, dessen vertikaler Schenkel in der Ebene des Schirmrandes zu liegen schien. Durch ein Verschieben des Meßfadens wurde bewirkt, daß die Bilder des Meßfadens im linken und der Linie im rechten Okular auf querdisparate Netzhautstellen fielen. Der Meßfaden rückte dementsprechend aus der Ebene des Schirmrandes nach vorne oder nach hinten. Mit Hilfe einer derartigen Einrichtung ließ sich, wie Pulfrich[4]) und Monjé[5]) gezeigt haben, die Größe des Stereoeffektes sehr genau messen. Wir gingen dabei in der Weise vor, daß zunächst die Ebene bestimmt wurde, in der sich die Marke tatsächlich bewegte. (Bei der Einstellung dieser Ebene war darauf zu achten, daß nicht durch Augenbewegungen eine Verschiebung der Marke hervorgerufen wurde.) Aus der Größe der Verschiebung des Meßfadens im Okularmikrometer, die notwendig war, um das Bild des Fadens in die durch den Stereoeffekt bedingte Ebene der Marke zu bringen, ergab sich unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit der Marke die Größe des Stereoeffektes ausgedrückt in σ. Ein Vergleich der in dieser Art erhaltenen Werte mit solchen Werten, die mit der Methode Arndts durch die direkte Messung der Tiefe des Stereoeffektes gewonnen wurden, zeigte, daß beide Methoden zu den gleichen Resultaten führten. So ergab z. B. eine bei 316 Bogenminuten gemessene Dekade mit der Okularmikrometermethode für Fr 56,6 σ und für Ho 51,6 σ, die entsprechenden Werte nach der Arndtschen Methode betragen 55,4 σ und 50,2 σ.

Der Kopf des Beobachters war durch eine Stirnstütze fixiert. Bei einer großen Reihe von Versuchen wurde außerdem ein Beißbrettchen verwendet. Es zeigte sich jedoch, daß eine derartige weitgehende Sicherung der Kopfstellung nicht notwendig war, wenn die Versuchsperson darauf achtete, daß sich die beiden Gesichtsfelder deckten. Dazu war eine besondere Berücksichtigung des Augenabstandes erforderlich; außerdem wurden künstliche Pupillen vorgeschaltet, die kleiner als die Pupillen der Augen waren, um zu verhüten, daß bereits bei geringen Bewegungen des Kopfes das Gesichtsfeld auf beiden Augen in verschiedener Weise verändert und dadurch die Möglichkeit für das Auftreten eines Stereoeffektes geschaffen wurde. Ein Fehler der Methode bestand darin, daß die Okularmikrometer-Vorrichtung vor dem linken Auge mehr Licht absorbierte

---

[1]) E. Hirschberg, Z. Biol. **90**, 84 (1930).

[2]) M. Monjé, Z. Biol. **91**, 388 (1931).

[3]) Die Ergebnisse Monjés über die binokulare Empfindungszeit wurden dabei durch eine weitere Versuchsperson (Ho) bestätigt.

[4]) C. Pulfrich, Berlin 1923, S. 48.

[5]) M. Monjé, Handbuch der biol. Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, S. 1285, 1932.

als das Okular des rechten Auges. Dieser Fehler konnte durch die künstlichen Pupillen ausgeglichen werden.

Die Berechnung der Empfindungszeiten und der Stereowerte ergab sich aus der Geschwindigkeit der bewegten Marke und der Verschiebung des Meßfadens, die an der Okularmikrometertrommel abgelesen werden kann; ferner aus dem Abstand des vereinigten Knotenpunktes der Augen von der Ebene der bewegten Marke und der durch die optische Einrichtung bedingten Vergrößerung; der Abstand des vereinigten Knotenpunktes betrug 304 mm, die Vergrößerung war eine 3,5fache.

Die gesamte Versuchsanordnung befand sich in einem schwarzgestrichenen Versuchsraum, der von drei gegen die Versuchsperson abgeschirmten Lampen erhellt war. Da die Versuchsperson auf ein hellbeleuchtetes Gesichtsfeld blickte, muß angenommen werden, daß der Adaptationszustand dem der Helladaptation entspricht. Dafür spricht, daß Farben deutlich gesehen wurden. Beweisend ist in dieser Hinsicht auch der Umstand, daß die Empfindungszeitwerte der Versuchsperson Mo denen der Versuchspersonen Fr und Ho entsprechen. Durch zahlreiche systematische Untersuchungen[1]) konnte nämlich nachgewiesen werden, daß mit beginnender Dunkeladaptation aus bisher nicht ganz geklärten Gründen die Empfindungszeit von Mo im Vergleich zur Empfindungszeit von Fr und anderen anwächst und bei völliger Dunkeladaptation Werte von der 2,3fachen Größe erreichen kann. – Der Versuchsleiter war durch einen großen, schwarzen Kartonschirm von der Versuchsperson abgedeckt.

Bei der Durchführung der Versuche wurden von einer Versuchsperson jeweils fünf Messungen hintereinander ausgeführt. Durch Pausen sowohl zwischen den einzelnen zu einer Messung gehörenden Beobachtungen (etwa 5–7), als auch zwischen den einzelnen Messungen wurde die Ermüdung nach Möglichkeit ausgeschaltet. Nach fünf Messungen wechselten Versuchsleiter und Versuchsperson einander ab. Zu einer vollständigen Versuchsserie gehörten die Messung der Empfindungszeit des starken Reizes und des schwachen Reizes und die Messung des Stereoeffektes. Die Reihenfolge, in der diese drei Gruppen bestimmt wurden, war beliebig. Die Anzahl der einzelnen Messungen jeder Gruppe betrug bei den systematisch durchgeführten Serien mindestens 30. Der mittlere Fehler μ der Mittelwerte wurden nach der Gaußschen Formel berechnet:

$$\mu = \sqrt{\frac{\Sigma \varepsilon^2}{n\,(n-1)}}$$

ε gibt dabei die einzelnen Fehler, n die Zahl der Messungen an.

Die Versuche wurden von den drei Versuchspersonen Fr, Mo und Ho durchgeführt.

Bei der Durchführung der vorliegenden Versuche wurde berücksichtigt, daß die Versuchspersonen zunächst die notwendige Übung in der Handhabung der Methodik erwerben mußten. Die Erfahrung, die wir bei den Einübungsversuchen der Messung der Empfindungszeit machen konnten, entspricht durchaus den Angaben von Monjé[2]).

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchungen wurde das stereoskopische Sehvermögen an der (1908) von Pulfrich angegebenen Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen (Meß 343, mit Schlüssel und Stereoskop zu beziehen durch Carl Zeiß, Jena) geprüft und festgestellt, daß alle drei Versuchspersonen ein hochgradiges stereoskopisches Sehvermögen besitzen. Diese Feststellung ist wichtig, da die Feinheit der Wahrnehmung des Stereoeffektes der Fähigkeit des stereoskopischen Sehens parallel geht (Saeger[3])).

Ergebnisse.

A. Verwendung einer rechteckigen Reizform.

Nach diesen Vorversuchen gingen wir zu den eigentlichen Versuchen über. Der rechteckige schwarze Reiz bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 7°/Sek. durch das Gesichtsfeld. Die Reizintensität war durch die

[1]) M. Monjé, Pflügers Arch. **209**, 562 (1925).
[2]) M. Monjé, Z. Biol. **90**, 117 (1930).
[3]) F. Saeger, Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, (Beilagenheft) S. 208 (1927).

Helligkeit der Milchglasscheibe gegeben, welche von einer hundertkerzigen Lampe aus einem Abstand von 39 cm beleuchtet wurde. Zur Abschwächung der Intensität auf dem einen Auge diente ein Graufilter (Lifafilter). Unter diesen Bedingungen wurde, wie die Tabelle 1 zeigt, ein Stereoeffekt von 28 bzw. 26 σ gemessen.

Tabelle 1.

Empfindungszeiten und Stereoeffekt bei einseitiger Abschwächung der Intensität durch Graufilter. Rechteckige Reizform. Geschw. 7/°Sek.

Empfindungszeit des schwachen Reizes in σ			Empfindungszeit des starken Reizes in σ			Stereoeffekt in σ		
Anzahl	Fr.	Ho	Anzahl	Fr.	Ho	Anzahl	Fr.	Ho
70	113	107	65	83	78	6	28	26
mittl. Fehler in σ	1,16	0,28		1,15	1,19		0,13	0,17

Die Untersuchung der Empfindungszeiten ergab für den starken Reiz 83 σ für Fr, 78 σ für Ho, für den schwachen Reiz 113 σ für Fr, 107 σ für Ho. Die Differenz der Empfindungszeiten der beiden Intensitäten beträgt also bei Fr 30 und bei Ho 29 σ. Sämtliche Werte sind, wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, mit 60 bzw. 65 und 70 Einzelmessungen gesichert und weisen nur einen geringen mittleren Fehler der Mittelwerte auf. Wenn wir die Differenzen der absoluten Empfindungszeiten mit den gemessenen Stereoeffekten vergleichen, so ergibt sich, daß die letzteren um wenige σ kleiner sind als die ersteren, nämlich bei Fr um 2 und bei Ho um 3 σ. Diese Unterschiede sind gering, sie können in die Fehlergrenzen fallen. Aber sie weisen doch in die Richtung, in der eine gegenseitige Beeinflussung der Empfindungen beim Zustandekommen des Stereophänomens möglich sein könnte. Es war nicht ausgeschlossen, daß ein stärkeres Hervortreten der Beeinflussung nur durch die hierfür ungünstigen Versuchsbedingungen (geringer Intensitätsunterschied beider Reize; zu langsame Geschwindigkeit) verhindert wurde.

In einer weiteren Versuchsserie wurde deshalb die Intensität des starken Reizes dadurch gesteigert, daß die Lampe im Photometer auf 16 cm an die Milchglasscheibe herangerückt wurde, die Abschwächung wurde durch dichteres Blauglas erhöht; die Geschwindigkeit, mit der der Reiz bewegt wurde, wurde auf 35°/Sek. gesteigert. Unter diesen Bedingungen war die Empfindungszeit des starken Reizes bestimmt minimal, die Mittelwerte aus 30 Messungen ergaben für Fr 40, für Ho 38 σ (vgl. Tab. 2). Für den schwachen Reiz wurden Empfindungszeiten von 77 bzw. 62 σ als Mittelwerte aus 40 Messungen bestimmt. Daraus ergibt sich eine Differenz von 37 σ bei Fr und 24 σ bei Ho. Der Stereoeffekt betrug bei den beiden Versuchspersonen 28 σ. Die Abweichungen der gemessenen Werte von den aus den Empfindungszeiten errechneten liegen demnach bei beiden Versuchspersonen in verschiedener Richtung, bei Fr ist der Stereoeffekt um 9 σ kleiner als die Empfindungszeitdifferenz, bei Ho dagegen um 4 σ größer.

Tabelle 2.

Empfindungszeit und Stereoeffekt bei einseitiger Abschwächung der Intensität durch Blaufilter. Rechteckige Reizform. Geschw. 35/°Sek.

Empfindungszeit des schwachen Reizes in σ			Empfindungszeit des starken Reizes in σ			Stereoeffekt in σ		
Anzahl	Fr.	Ho	Anzahl	Fr.	Ho	Anzahl	Fr.	Ho
40	77	62	30	40	38	20	28	28
mittl. Fehler in σ	1,38	1,61		1,03	1,09		1,16	0,24

B. Verwendung einer runden Reizform.

1. Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Reizbewegung

Nach den Angaben Pulfrichs [1]) und den Versuchen von Arndt [2]) war zu erwarten, daß der Stereoeffekt noch deutlicher hervortreten würde, wenn an Stelle eines rechteckigen Reizes ein Reiz in Kugelform verwendet werden würde. Der Einfluß eines runden Reizes auf die Empfindungszeit war durch die Untersuchung von Hirschberg [3]) bekannt. Wir verwendeten deshalb bei den folgenden Serien das geschwärzte Köpfchen einer Insektennadel entsprechend dem Vorgehen von Arndt. Wir begnügten uns dabei nicht mit einer Geschwindigkeit, sondern wir verglichen die Beziehungen des Stereoeffektes zu den Empfindungszeiten der beiden Reize unter gleichbleibenden Intensitätsverhältnissen (die Milchglasscheibe wurde aus einem Abstande von 27 cm beleuchtet; zur Abschwächung diente das gleiche Blauglas wie in der vorigen Serie) für eine Reihe von Geschwindigkeiten. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 für eine der drei Versuchspersonen wiedergegeben.

Tabelle 3.

Empfindungszeit und Stereoeffekt in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der bewegten Marke. Runde Reizform. Abschwächung durch Blauglas.

Geschw.	HO								
	Schwacher Reiz			Starker Reiz			Stereoeffekt		
	Anz.	EZ in σ	m. F. in σ	Anz.	EZ in σ	m. F. in σ	Anz.	Stereowert in σ	m. F. in σ
39′	60	279	2,38	70	166	2,59	100	97	1,19
87′	10	240	2,39	20	129	1,73	10	94	2,43
316′	50	155	1,1	50	91	0,9	50	52	0,49
1192′	5	71	2,41	5	50	1,26	5	22	0,24
1394′	20	55	1,05	20	39	0,29	20	16	0,06
2425′	50	53	0,46	50	35	0,3	50	20	0,32
7832′	30	52	0,66	30	38	0,26	30	16	0,1

In der Tabelle ist erst der schwache, dann der starke Reiz und drittens der Pulfrich-Effekt angeführt. Jede dieser Untergruppen zerfällt wieder in drei Kolumnen, von denen die erste die Anzahl der Messungen, die zweite

[1]) Pulfrich, Berlin 1923, S. 51.
[2]) E. Arndt, Z. Biol. **90**, 576 (1930).
[3]) G. Hirschberg, Z. Biol. **90**, 81 (1930).

den Mittelwert aus diesen Messungen in σ und die dritte den mittleren Fehler der Mittelwerte enthält. Die Ergebnisse der beiden anderen Versuchspersonen stimmen unter den gleichen Bedingungen mit den angeführten Werten der Versuchsperson Ho recht gut überein (vgl. Abb. 1). Diese Übereinstimmung ist wichtig, weil sie wiederum zeigt, daß unter gleichen Bedingungen von den verschiedenen Versuchspersonen gleiche Empfindungszeiten und gleiche Stereoeffekte gemessen wurden. Mit abnehmender Geschwindigkeit der Bewegung des Reizes nehmen bei allen Versuchspersonen sowohl die Empfindungszeiten als auch die Stereowerte ab, und zwar folgen sie dabei in gesetzmäßiger Weise einer logarithmischen Funktion mit verschiedenen Konstanten. Deutlicher als aus der Tabelle geht das aus der Abb. 1 hervor. Auf der logarithmisch eingeteilten Abszisse

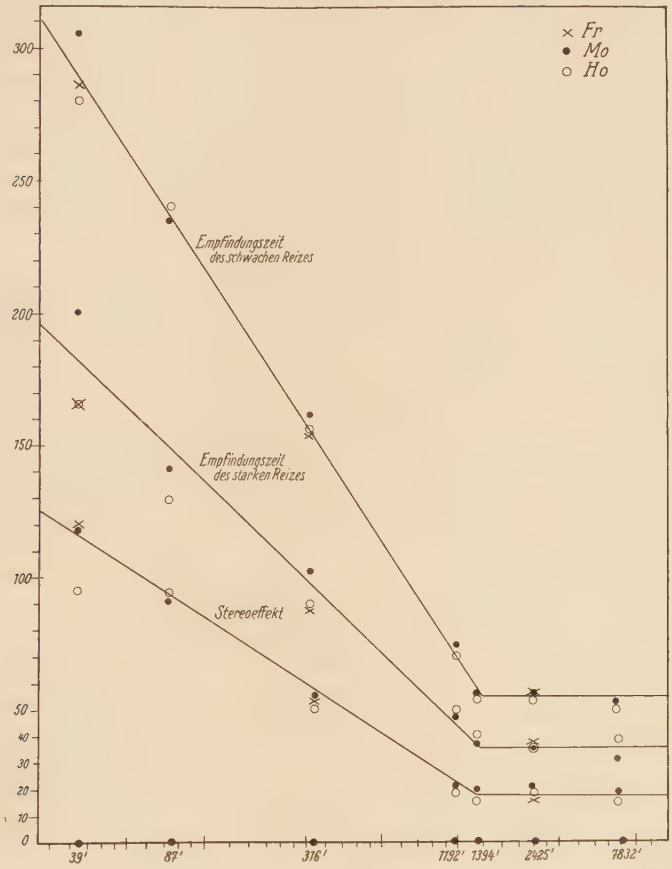

Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit der Empfindungszeit eines schwachen Reizes, der Empfindungszeit eines starken Reizes und des sich aus beiden Reizen ergebenden Stereoeffektes von der Geschwindigkeit.

sind die Geschwindigkeiten in Bogenminuten eingetragen, die Ordinate gibt die Größe der Empfindungszeit und des Stereoeffektes in σ an. Wir konnten also in Übereinstimmung mit den Resultaten von Vogelsang[1]),

[1]) K. Vogelsang, Z. Biol. **84**, 505 (1926).
[2]) E. Hirschberg, Z. Biol. **90**, 86 (1930).

Hirschberg[1]) und Arndt[3]) zeigen, daß die Empfindungszeit für Lichtreize bis zu einer bestimmten Grenze von der Geschwindigkeit des bewegten Reizes abhängig ist. Bei den relativ kleinen Unterschieden der Intensität des starken und schwachen Reizes konnten wir eine verschiedene Lage dieser Grenze in Abhängigkeit von der Reizintensität, wie sie von Vogelsang[1]) und Hirschberg[2]) nachgewiesen worden war, nicht mit Sicherheit feststellen. Eine geringfügige Abweichung unserer Resultate von denen Vogelsangs und Hirschbergs besteht darin, daß für den starken Reiz bereits bei 25°/Sek. der Einfluß der Geschwindigkeit auf die Größe der Empfindungszeit aufhört. — Die graphische Darstellung der Resultate Arndts, die die Abhängigkeit des Stereoeffektes von der Geschwindigkeit des bewegten Reizes zum Ausdruck bringt, zeigt verschiedene Knickpunkte, die bei unserer Kurve fehlen. Der erste Knickpunkt der Kurve Arndts erklärt sich aus dem spezifischen Verhalten der runden Reizform; er liegt jenseits der von uns verwendeten Geschwindigkeiten und konnte daher in unserer Kurve nicht in Erscheinung treten. Der Knickpunkt II wird von Arndt aus dem verschiedenen Verhalten des schwachen und des starken Reizes gegenüber der Geschwindigkeit erklärt: Da der Einfluß der Geschwindigkeit auf den starken Reiz länger dauert als auf den schwachen, müssen die Differenzen der Empfindungszeiten und damit auch die Stereowerte von dem Punkte an, wo die Empfindungszeit des schwachen Reizes unverändert bleibt, wieder zunehmen, und zwar so lange, bis auch der starke Reiz die Grenze erreicht hat. Von da ab (Knickpunkt III) muß dann die Kurve parallel zur Abszisse verlaufen. Bei unseren Ergebnissen hört der Einfluß der Geschwindigkeit auf den schwächeren und den starken Reiz gleichzeitig auf, infolgedessen zeigt die graphische Darstellung der von uns gemessenen Stereoeffekte nur einen Knick bei 1500′. In der Tabelle 4 sind die Werte einer anderen Versuchsperson, der Versuchsperson Mo, angeführt, aber so angeordnet, daß sich die Differenzen der Empfindungszeiten ergeben und einen Vergleich mit den darunterstehenden Stereoeffekten ermöglichen.

Tabelle 4.

Empfindungszeitdifferenzen und Stereoeffekte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

	Mo						
Geschwindigkeit	39′	87′	316′	1192′	1394′	2425′	7832′
Empfindungszeit d. schwachen Reizes	307	235	162	75	57	55	54
Empfindungszeit des starken Reizes .	202	143	104	48	36	35	32
Differenz der Empfindungszeit . . .	105	92	58	27	21	20	22
Stereoeffekt	119	101	57	23	20	21	19
Abweichung	14	9	1	4	1	1	3

Dieser Vergleich zeigt, daß die Abweichungen außerordentlich gering sind und regellos nach beiden Seiten liegen, d. h. die Stereoeffekte sind teils um wenige σ größer, teils kleiner als die Differenzen der absoluten

[1]) G. Arndt, Z. Biol. **90**, 580 (1930).

Empfindungszeiten. Da diese Resultate durch eine große Anzahl von gut zusammenstimmenden Einzelwerten von drei Versuchspersonen gefestigt sind, so können wir mit Bestimmtheit aus ihnen den Schluß ziehen, daß die nach Pulfrich gemessenen Stereowerte den Differenzen der absoluten Empfindungszeiten ohne irgendwelche gegenseitige Beeinflussung der Empfindungen beider Augen entsprechen.

2. Abhängigkeit von der Reizintensität.

Eine gegenseitige Beeinflussung hätte unter den vorliegenden Bedingungen nur die Empfindungszeit des schwachen Reizes betreffen können, da bei allen bisher geschilderten Versuchen die Helligkeit des Hintergrundes so groß war, daß sich für den starken Reiz unter allen Umständen die minimale Empfindungszeit ergab, also die kürzeste Empfindungszeit, die überhaupt gemessen werden konnte. Um einem Einwand entgegenzutreten, der sich aus dieser Tatsache ergeben konnte, haben wir bei der Geschwindigkeit von 316′/Sek. den starken Reiz durch ein passendes Filter so weit abgeschwächt, daß er zwar stärker war als der schwache Reiz, jedoch nicht mehr die minimale Empfindungszeit ergab, sondern eine Empfindungszeit von 136 σ bzw. 127 σ, wie aus der Tabelle 5 ersichtlich ist.

Tabelle 5.

Empfindungszeiten und Stereoeffekte in Abhängigkeit von der Abschwächung.

	Mo			Ho		
Empfindungszeit des schwachen Reizes in σ	162	162	—	155	155	—
Empfindungszeit d. mittelstark. Reizes in σ	136	—	136	127	—	127
Empfindungszeit des starken Reizes in σ .	—	104	104	—	91	91
Differenz der Empfindungszeiten	26	58	32	28	64	36
Stereoeffekt	25	57	33	20	52	33
Abweichung	1	1	1	8	12	3

Darauf wurde der Stereoeffekt gemessen, der sich zwischen diesem mittelstarken Reiz und dem früher verwendeten schwachen einerseits und dem mittelstarken und dem übermaximalen Reiz andererseits ergab. In der Tabelle 5 sind die entsprechenden Werte der Tabelle 3 und die neu gemessenen durch je zwei Dekaden belegten Werte übersichtlich zusammengestellt. Aus dieser Tabelle geht deutlich hervor, daß es gleichgültig ist, ob die beiden den Stereoeffekt bedingenden Werte in bezug auf die Empfindungszeit untermaximal sind oder ob der eine von ihnen übermaximal ist. Der Stereoeffekt entspricht stets den Differenzen der Empfindungszeiten beider Reize. Es ist ein guter Beleg für die Genauigkeit unserer Messung, daß die Summe der Pulfrich-Effekte, die wir zwischen dem mittelstarken und dem schwachen Reiz einerseits und dem übermaximalen Reiz andererseits gemessen haben, mit den früher gemessenen Stereowerten zwischen dem schwachen und dem übermaximalen Reiz bei den beiden Versuchspersonen bis auf 1 σ übereinstimmen.

Eine Frage, die noch geklärt werden mußte, war die nach dem Verhalten des Pulfrich-Effektes, wenn den beiden Augen Reize dargeboten werden, die zwar der Helligkeit nach verschieden sind, die jedoch beide die minimale Empfindungszeit bedingen. Aus Untersuchungen, in denen die Abhängigkeit der Empfindungszeit von der Reizintensität geprüft worden war, war ja bekannt, daß bereits bei einer dem Eindruck nach mittleren Helligkeit die minimale Empfindungszeit erreicht wird, an deren Größe die zunehmende Intensität des Reizes nichts mehr ändert; die Empfindung der Helligkeit dagegen nimmt mit steigender Intensität des Reizes noch weiter und zwar beträchtlich zu. Bei unseren Experimenten schwächten wir die Empfindung des einen Auges durch ein Gelbfilter ab und überzeugten uns, daß trotz der deutlichen Abschwächung der Intensität die minimale Empfindungszeit nicht verändert war. Bei Mo betrug der Mittelwert aus drei Dekaden 102 σ mit einem mittleren Fehler von 1,8 σ, bei Ho 95 σ mit einem mittleren Fehler von 1,4 σ. Für den starken Reiz betrugen unter den gleichen Bedingungen die Empfindungszeit für Mo 104 σ und für Ho 91 σ. Bei der Bestimmung des Pulfrich-Effektes gingen wir in der Weise vor, daß wir die Versuchspersonen aufforderten, den vorher vom Versuchsleiter verschobenen Meßfaden ebenso wie bei der bisherigen Bestimmung des Stereoeffektes auf die Ebene des Reizes einzustellen. Es ergaben sich dabei Schwankungen um den Nullpunkt. Ein Pulfrich-Effekt trat nicht auf. Auch bei schnellem Hin- und Herbewegen der Marke, bei dem selbst ein geringer Tiefeneffekt deutlich in Erscheinung getreten wäre, war unter diesen Bedingungen kein Kreisen zu beobachten. Intensitätsunterschied allein bewirkt also keinen Stereoeffekt. Der Stereoeffekt tritt vielmehr nur dann auf, wenn die verschiedene Intensität eine verschiedene Empfindungszeit bedingt.

C. Einfluß der Übung, Aufmerksamkeit und Ermüdung.

Durch die vorliegenden Untersuchungen wurden unsere bisherigen Erfahrungen über den Einfluß der Übung, Aufmerksamkeit und Ermüdung bestätigt und erweitert. Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß wir bei der Empfindungszeitmessung die von Monjé[1]) zusammengefaßten Ergebnisse durchaus bestätigen konnten. Neu ist, daß noch zu einer Zeit, in der die zur Messung der Empfindungszeit notwendige Übung fehlt, der Stereoeffekt bereits richtig gemessen werden kann. Diese Tatsache deckt sich mit Erfahrungen, die bei Untersuchungen über die Beziehungen der Reaktionszeit zur Empfindungszeit gemacht werden konnten. Sie beweist, daß die Einübung nicht die Empfindung selbst betrifft, sondern nur den methodischen Anteil. Da dieser methodische Anteil bei der Messung der Empfindungszeit und des Stereoeffektes sehr verschieden ist, so erklärt sich daraus, daß die Resultate bei mangelnder Übung nicht parallel zu gehen brauchen. Daß sie parallel gehen können, dafür spricht der Umstand, daß die Ablenkung der Aufmerksamkeit sowohl bei der Empfindungszeitmessung eine Vergrößerung der Werte als auch bei der Messung des Stereo-

[1]) M. Monjé, Z. Biol. **90**, 118 ff. (1930).

effektes eine Vergrößerung der Verschiebung hervorrufen kann. Eine Vergrößerung der Stereowerte durch fehlende Übung fanden wir beispielsweise bei den auf S. 507 angeführten Versuchen. Bei ihnen ergab die erste Halbdekade von Fr einen Mittelwert von 37 σ, bei Ho von 30 σ, während die endgültigen Werte, wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, für Fr 28 und für Ho 26 σ betragen. Die Bestimmung des Stereoeffektes scheint jedoch leichter zu sein als die Messung der absoluten Empfindungszeitwerte. Sie führte jedenfalls viel schneller und leichter zu übereinstimmenden Ergebnissen als die Messung der Empfindungszeiten. Wenn somit der Beweis erbracht werden konnte, daß eine Zunahme der Empfindungsgeschwindigkeit im Rahmen der Einübungsversuche nicht zustande kommt, daß vielmehr die Verlängerung der Empfindungszeit, die uns bei mangelnder Übung entgegentritt, nur auf die Ablenkung der Aufmerksamkeit durch die Methodik zurückzuführen ist, so ist damit notwendig gegeben, daß wir nur aus solchen Empfindungszeiten Schlüsse ziehen dürfen, die durch die Übung nicht mehr beeinflußt werden, wenn wir den tatsächlichen Vorgängen in unserem Lichtsinnesorgan gerecht werden wollen.

Bei Ermüdung der Versuchspersonen trat eine Verlängerung der Empfindungszeiten und in geringerem Umfange des Stereoeffektes auf; da die ermüdete Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit nicht in genügender Weise anzuspannen imstande ist, so lassen sich die Erscheinungen durch das Nachlassen der Aufmerksamkeit erklären.

Erörterung.

Wir haben in der Einleitung dieser Arbeit darauf hingewiesen, daß der Stereoeffekt von Pulfrich zum Zwecke der heterochromen Photometrie beschrieben worden war. Gegen eine derartige Verwendbarkeit hatte bereits J. v. Kries[1]) Einwendungen gemacht. Er fand nämlich, daß sich bei zunehmender Dunkeladaptation Eindruckshelligkeit und Stereophänomen entgegengesetzt veränderten (paradoxes Purkinjesches Phänomen, Kronenberger[2])) und machte infolgedessen die Einschränkung, daß zwei ungleichfarbige Lichter nur dann stereogleich zu nennen seien, wenn sie „bei hoher absoluter Stärke und helladaptierten Augen verglichen keinen von Null verschiedenen Stereoeffekt geben". Zu ähnlichen Resultaten kamen Engelking und Poos[3]), die die Untersuchungen von v. Kries weiter ausbauten und das Stereophänomen mit anderen Methoden zur Helligkeitsvergleichung verglichen. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß „die Stereowerte etwas grundsätzlich anderes darstellen als z. B. die Minimalfeldhelligkeiten oder die Dämmerungswerte". Kronenberger[4]) zeigte, daß die Empfindungszeit und die Helligkeit eines Lichtreizes sich nicht unter allen Umständen und namentlich nicht bei beginnender Dunkeladaptation gleichmäßig verändern müssen. Er erklärte dementsprechend das paradoxe

[1]) J. v. Kries, Naturwiss. **24**, 465 (1923).
[2]) P. Kronenberger, Pflügers Arch. **211**, 457 (1926).
[3]) E. Engelking und F. Poos, Graefes Arch. **114**, 366 (1924).
[4]) P. Kronenberger, Pflügers Arch. **211**, 454 (1926).

Purkinjesche Phänomen dadurch, daß bei einem bestimmten Adaptationszustand der hellere blaue Reiz eine längere Empfindungszeit habe als der dunkler erscheinende rote Reiz. Durch unsere Versuche wurde die Angabe Kronenbergers vollauf bestätigt. Wir können jetzt mit Sicherheit sagen, daß die Eindruckshelligkeit und der Stereoeffekt durchaus nicht immer identisch sind. Auch die von v. Kries gemachte Einschränkung genügt nicht, denn wir konnten zeigen, daß zwei in ihrer Intensität verschiedene Reize bei Helladaptation keinen Stereoeffekt ergaben, wenn sie beide die gleiche Empfindungszeit bedingen. Nur solange, als sich mit der Intensität auch die Empfindungszeit verändert, läßt sich das Stereophänomen zur heterochromen Photometrie verwenden. Darauf weisen die in der Einleitung zitierten Angaben von Kronenberger und Monjé hin, aus denen hervorgeht, daß farbige Lichter gleicher Eindruckshelligkeit unter bestimmten Bedingungen den gleichen Stereoeffekt und die gleiche Empfindungszeit bedingen. Die Anwendungsmöglichkeit des Stereophänomens zur Photometrie ist demnach eine beschränkte, sie ist nur möglich, wenn die Tatsachen, die sich bei der Untersuchung der Empfindungszeit unter den mannigfachen Bedingungen ergeben haben, berücksichtigt werden.

Die Übereinstimmung der Differenzen aus den unokular bestimmten Empfindungszeiten mit dem Stereoeffekt zeigt, daß keine gegenseitige Beeinflussung der Empfindungen beim Zustandekommen des Stereophänomens stattfindet. Dem stehen gegenüber die Ergebnisse von Monjé[1]), aus denen hervorgeht, daß sich die Empfindungen gleich starker Reize summieren, so daß die Empfindungszeit binokular im Verhältnis 4 : 3 verkürzt ist. Dieser scheinbare Widerspruch unserer Ergebnisse zu denen Monjés kann dadurch erklärt werden, daß beim Stereoeffekt die binokularen Empfindungen zeitlich bzw. räumlich getrennt wirken, während bei den Versuchen Monjés gleich starke Reize gleichzeitig und an der gleichen Stelle zur Wirkung gelangen. Wir haben hier einen Hinweis darauf, daß sich die gegenseitige Beeinflussung gleichstarker Empfindungen zentral vollzieht. Ähnlich liegen die Verhältnisse wohl auch, wenn an Stelle der bewegten Reize langdauernde Reize verschiedener Intensität auf die beiden Augen wirken. Es ist als Fechners paradoxes Phänomen[2]) bekannt, daß unter solchen Bedingungen die Summe der Empfindungen beider Augen weniger hell sein kann als die einäugige Empfindung des helleren Reizes allein.

Bei Erörterung der von v. Kries aufgeworfenen Frage, ob für das Zustandekommen des Stereoeffektes die Zeit bis zum Beginn der Empfindungen oder diejenige Zeit, in der das Maximum der Helligkeit erreicht wird, ausschlaggebend ist, hat Kronenberger[3]) unter anderem darauf hingewiesen, daß der Stereoeffekt im ersteren Falle kleiner sein müsse als im zweiten. Diese Tatsache geht aus allen Versuchen hervor, bei denen neben

[1]) M. Monjé, Z. Biol. **91**, 392 (1931).

[2]) G. Th. Fechner, Abh. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wissensch. Bd. VII (Math.-physische Kl. Bd. V) S. 416–463, 1861. – H. Aubert, Physiologie der Netzhaut, Breslau 1865, S. 282. – E. Hering, Hermanns Handbuch der Physiol. 1879, Bd. III, 1 S. 596 u. 597. – H. v. Helmholtz, Physiologische Optik 3. Aufl. 1910, Bd. 3 S. 403 u. 424ff.

[3]) P. Kronenberger, Pflügers Arch. **211**, 483 (1926).

der Empfindungszeit auch die Lage des Maximums der Helligkeit bestimmt wurde. Die Dauer des ansteigenden Schenkels bis zum Helligkeitsmaximum nimmt zwar ebenso wie die Empfindungszeit mit anwachsender Intensität gesetzmäßig ab, aber die Differenzen zwischen den Empfindungszeiten und ansteigendem Schenkel sind bedeutend größer als die Differenzen der Empfindungszeiten allein. Vgl. die Protokolle XXXIX und XL auf S. 43 der Arbeit „Über die Abhängigkeit der Empfindungszeit und des zeitlichen Verlaufes der Gesichtsempfindung von der Intensität, Dauer und Geschwindigkeit der Belichtung" von Fr. W. Fröhlich[1]). Als weiteres Beispiel seien aus einer noch nicht veröffentlichten Arbeit folgende Werte angeführt, die eine Empfindungszeitdifferenz ergeben, wie sie auch unter den Bedingungen dieser Versuche gemessen wurden: Empfindungszeit des schwachen Reizes 138 σ, des starken Reizes 113 σ, die Differenz also 25 σ. Bei denselben Reizen wird das Helligkeitsmaximum 197 bzw. 155 σ nach Reizbeginn erreicht, dem entspricht eine Differenz von 42 σ; oder: Empfindungszeit des schwachen Reizes 56 σ, des übermaximalen starken Reizes 34 σ, Differenz 22 σ. Die Zeit bis zur Erreichung des Helligkeitsmaximums beträgt 77 und 44 σ, also eine Differenz von 33 σ. Bei der Genauigkeit, mit der der Stereoeffekt gemessen werden konnte, ist es unmöglich, daß uns derartige Abweichungen entgangen wären. Für den Stereoeffekt können demnach nur die Empfindungszeitdifferenzen maßgebend sein.

Von allen Forschern, die sich mit der Untersuchung des Pulfrichschen Stereoeffektes beschäftigt haben, ist — von dem eben erörterten Einwand von v. Kries abgesehen — die Anschauung vertreten worden, daß der Stereoeffekt auf dem Unterschied derjenigen Zeiten beruht, mit denen der Reiz im rechten und linken Auge zur Empfindung gelangt, mit anderen Worten, der Stereoeffekt beruht auf der Differenz der Empfindungszeiten derjenigen Reize, die dem rechten und dem linken Auge dargeboten sind. Durch die vorliegende Untersuchung haben wir gezeigt, daß nach dem Vorgehen Fröhlichs Werte gemessen werden, deren Differenz dem Stereoeffekt entspricht. Es kann demnach nicht mehr zweifelhaft sein, daß mit der Methode Fröhlichs wirklich die Empfindungszeit gemessen wird. Wenn einige Autoren glaubten, die Möglichkeit der Empfindungszeitmessung mit der Methode Fröhlichs[2]) und Hazelhoffs[3]), die zu den gleichen Resultaten führen, ablehnen zu müssen, wie z. B. Metzger[4]) trotz der eingehenden Erwiderung Fröhlichs, so werden sie heute zunächst erklären müssen, wie die Resultate der vorliegenden Arbeit zustande kommen können, wenn die Methode Fröhlichs nicht die absoluten Empfindungszeiten ergibt. Die vorliegenden Ergebnisse bilden also eine weitere Stütze für die Messung der Empfindungszeit.

---

[1]) Fr. W. Fröhlich, Z. Sinnesphysiol. **55** (1923).

[2]) Fr. W. Fröhlich, Pflügers Arch. **208**, 120 (1924); Die Empfindungszeit, Jena 1929, S. 22.

[3]) F. Hazelhoff, De Waarnemingstijd, M. de Waal, Groningen 1923.

[4]) W. Metzger, Psychol. Forschg **17**, 349 (1933).

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Untersuchung wurde der von Pulfrich beschriebene Stereoeffekt mit den nach Fröhlich gemessenen Empfindungszeiten verglichen. Dabei ergab sich, daß der Stereoeffekt unter allen Umständen der Differenz der Empfindungszeiten, die für das rechte und linke Auge gemessen wurden, entspricht. Die verschiedene Helligkeit der Empfindungen beider Augen allein bewirkt keinen Stereoeffekt. Der Stereoeffekt tritt vielmehr nur dann auf, wenn die Verschiedenheit der Intensität mit einer Verschiedenheit der Empfindungszeiten beider Augen verknüpft ist. Die Beziehungen zwischen Empfindungszeit und Stereoeffekt werden durch die Form des Reizes nicht beeinflußt.

Unsere Erfahrungen über die Einübung wurden durch den Vergleich der Messung des Stereophänomens mit der Messung der Empfindungszeit erweitert.

Durch die Übereinstimmung der nach Fröhlich gemessenen Empfindungszeitwerte mit den Stereowerten erhält die Empfindungszeitmessung nach Fröhlich und Hazelhoff eine neue Stütze.

LEBENSLAUF

Am 21. Oktober 1909 wurde ich, Johannes Holz, als Sohn des Schiffsingenieurs Johannes Holz in Bremen geboren. Dort besuchte ich eine Vorschule und das Alte Gymnasium. Im Jahre 1921 siedelten meine Eltern nach Rostock über. In Rostock besuchte ich die Große Stadtschule (Gymnasium), an der ich Ostern 1928 die Reifeprüfung bestand. Darauf studierte ich 5 Semester bis zur ärztlichen Vorprüfung an der Universität Rostock. Meine klinischen Semester absolvierte ich an den Universitäten München, Graz und Rostock. Am 8. Dezember 1933 bestand ich das ärztliche Staatsexamen in Rostock, am 20. Dezember 1933 meine mündliche Doktorprüfung. Z. Z. bin ich als Medizinalpraktikant im Beobachtungskrankenhaus der Landesversicherungsanstalt Mecklenburg in Schwerin-Lankow tätig.

Die Anregung zu der vorstehenden Arbeit habe ich von Herrn Professor Fr. W. Fröhlich erhalten. Für diese Anregung und die stetige Hilfe durch Rat und Tat bei der Durchführung der Untersuchungen bis zu seinem Tode bin ich Herrn Professor Fröhlich zu tiefstem Dank verpflichtet. Ferner danke ich Herrn Privatdozent Dr. med. et phil. M. Monjé für seine Unterstützung bei der Durchführung und der Abfassung dieser Arbeit.